

煤矿开采沉陷地质灾害和处理策略

刘 斌

江西省地质调查勘查院地质环境监测所 江西 南昌 330006

摘 要: 本文聚焦煤矿开采沉陷地质灾害, 深入探讨其形成机制、主要类型、影响因素、预测方法以及处理策略与技术。阐述了开采沉陷因地下煤层移除致上覆岩土层下沉引发地表沉降, 包括垂直沉降、水平位移及衍生灾害。分析了地质因素如地质构造、覆盖层厚度和岩性, 以及开采技术如露天和地下开采对沉陷的影响。探讨了其对地表环境和社会经济活动的危害。介绍了包括经验公式法、数值模拟法和概率积分法的预测方法, 并提出沉陷区综合治理模式和绿色开采技术的处理策略, 旨在为煤矿开采沉陷地质灾害的防控和治理提供全面的理论与实践参考。

关键词: 煤矿开采; 沉陷; 地质灾害; 处理策略

引言: 煤炭作为重要的能源资源, 在其开采过程中, 沉陷地质灾害问题日益凸显。煤矿开采沉陷不仅对地质环境造成破坏, 还严重影响着社会经济的可持续发展和人民的生命财产安全。因此, 深入研究煤矿开采沉陷地质灾害的形成机制、影响和应对策略具有重要的现实意义。

1 煤矿开采沉陷灾害概述

1.1 开采沉陷的形成机制

煤矿开采沉陷是一个复杂的地质力学过程, 是由多种因素共同作用导致的。在煤矿开采过程中, 地下煤层被移除, 原本支撑上覆岩层的煤层失去了支撑力, 从而打破了地层内部原有的应力平衡状态。(1) 开采方式是影响沉陷形成的重要因素之一。不同的开采方法, 如长壁采煤法、房柱式采煤法等, 对顶板岩层的破坏程度和应力分布有着显著的差异。长壁采煤法通常会导致较大范围的覆岩移动和地表沉陷, 而房柱式采煤法则相对较小。(2) 煤层赋存条件也在很大程度上决定了沉陷的特征。煤层的厚度、倾角、埋深等都会对沉陷的程度和范围产生影响。较厚的煤层在开采后会形成更大的采空区, 从而引发更严重的顶板岩层变形和地表沉陷。煤层的倾角越大, 开采后上覆岩层的下滑趋势越明显, 导致水平位移的增加。煤层埋深较浅时, 地表沉陷的表现更为明显, 影响范围也相对较广。(3) 顶板岩层岩性同样对沉陷过程起着关键作用。坚硬的岩层在受到开采影响时, 能够在一定程度上保持自身的稳定性, 延缓顶板岩层的下沉和变形。然而, 软弱岩层则容易发生弯曲、断裂和破碎, 加速沉陷的发展。

在开采过程中, 随着煤层的逐步移除, 上覆岩层会依次发生垮落、断裂和弯曲下沉。首先, 顶板岩层会随着采煤工作面的推进而垮落。接着, 顶板顶岩层在失去

支撑后发生断裂, 形成砌体梁结构或悬臂梁结构。随着开采范围的不断扩大, 上覆岩层的变形和移动逐渐向上传递, 直到影响到地表, 导致地表出现沉降和变形^[1]。这个过程并非一蹴而就, 而是一个逐渐发展的动态过程。在开采初期, 沉陷的速度相对较慢, 随着时间的推移, 沉陷速度逐渐加快, 达到一个峰值后又逐渐减缓, 最终趋于稳定。

1.2 开采沉陷的主要类型

煤矿开采沉陷主要表现为垂直沉降和水平位移两种基本形式。垂直沉降是最为常见的现象, 表现为地表在垂直方向上的下沉。这种下沉通常在开采区域的正上方最为明显, 随着距离的增加逐渐减小。水平位移则是指地表在水平方向上的移动, 通常与垂直沉降相伴生。在某些情况下, 水平位移可能会导致地表建筑物、道路等基础设施发生倾斜、扭曲甚至破坏。除了垂直沉降和水平位移外, 开采沉陷还可能引发一系列衍生灾害, 其中地表裂缝和塌陷是较为常见的两种。地表裂缝是由于地表不均匀沉降和水平位移而产生的。地表裂缝的宽度和深度各不相同, 小的地表裂缝可能只有几厘米宽, 深度也较浅; 而大的地表裂缝则可能达到数米宽, 数十米深。地裂缝的出现不仅破坏了土地的完整性, 还可能导致土壤水分和养分的流失, 影响农作物的生长。此外, 地裂缝还会对建筑物的基础产生破坏, 威胁建筑物的安全。采空地面塌陷是开采沉陷的一种较为严重的表现形式。当采空区上方的岩层无法承受自身的重量时, 可能会发生突然的垮塌, 形成塌陷坑。塌陷坑的大小和形状取决于采空区的规模、岩层的性质以及开采方式等因素。塌陷不仅会造成土地资源的破坏, 还可能引发地表水的下渗, 影响地下水资源的分布和质量。在一些人口密集或重要基础设施附近的塌陷, 还可能引发严重的安

全事故，给人民生命财产带来巨大损失。

2 开采沉陷地质灾害的影响因素

2.1 地质因素

地质构造是影响开采沉陷的重要因素之一。褶皱、断层等地质构造的存在会改变岩层的应力分布和岩体的力学性质。褶皱构造使岩层发生弯曲，在开采过程中，弯曲部位的岩层更容易产生破裂和位移，从而加剧沉陷的程度和复杂性。断层则破坏了岩层的连续性和完整性，导致岩体强度降低。当开采活动靠近断层时，断层带可能会成为岩层移动的通道，使沉陷范围扩大，沉陷速度加快。覆盖层厚度对开采沉陷也有着显著的影响。较厚的覆盖层能够在一定程度上缓冲和分散开采引起的应力变化，从而减轻地表沉陷的程度。相反，薄覆盖层对上覆岩层的约束作用较弱，开采引起的岩层移动更容易传递到地表，导致地表沉陷较为明显和剧烈。岩性同样关键。坚硬的岩石具有较高的强度和抗变形能力，在开采过程中能够承受较大的应力而不发生明显的变形和破坏，从而限制了上覆岩层的移动和地表沉陷。而软弱岩石，如泥岩、页岩等，强度低、易变形，在开采影响下容易发生破裂和滑移，导致上覆岩层的快速下沉和地表的显著沉陷。此外，岩石的层理、节理等结构面的发育程度也会影响岩层的稳定性和沉陷特征。

2.2 开采技术因素

不同的开采技术对沉陷的影响程度存在明显差异。露天开采是直接剥离矿体上方的岩土，形成露天采场。这种开采方式会导致大面积的地表破坏和地形改变，沉陷范围较大且直观可见。由于露天开采直接移除了大量的岩土体，对原有的地质结构和应力平衡造成了巨大的破坏，因此其引发的沉陷往往较为剧烈。地下开采则是通过井巷工程进入地下煤层进行采掘。常见的地下开采方法包括长壁式开采、房柱式开采等。长壁式开采一般会形成较大的采空区，容易导致上覆岩层的大面积垮落和变形，从而引发较严重的地表沉陷。相比之下，房柱式开采由于留下了较多的煤柱支撑顶板，沉陷程度通常相对较轻，但采出率较低。开采的深度和速度也会影响沉陷。开采深度越大，地表沉陷的范围通常越大，但沉陷的速度相对较慢，且变形相对较为平缓。而快速的开采会使岩层来不及适应应力的变化，导致应力集中和岩层破坏加剧，从而加重沉陷的程度。

3 开采沉陷对环境与社会的影响

3.1 对地表环境的影响

开采沉陷给地表环境带来了诸多负面影响，严重破坏了原有的生态平衡和自然景观。（1）开采沉陷直接

改变了地表的形态和地势。原本平坦的土地可能会出现凹陷、裂缝和高低起伏的不平整状况，使得土地的可利用性大幅降低。这种地形的改变不仅影响了农业生产，也破坏了土地的自然排水系统，导致积水和内涝问题。

（2）沉陷导致的土壤侵蚀问题日益严重。地表的裂缝和不平整使得土壤更容易受到雨水和风的侵蚀，土壤中的养分和有机物质随之流失，土壤肥力急剧下降^[2]。这对于依赖土地进行农业生产的地区来说，是一个巨大的打击，农作物的产量和质量都受到严重影响。（3）开采沉陷造成了植被的退化。植被赖以生存的土壤基础被破坏，植物根系受损，生长环境恶化，许多植物无法正常生长甚至死亡。这进一步削弱了生态系统的稳定性，降低了其对气候变化和自然灾害的抵御能力。（4）沉陷区域的地下水位也可能发生变化。地下岩层的移动和破坏影响了地下水的储存和流动路径，导致部分地区地下水位下降，水资源短缺，而在另一些地方则可能出现水位上升，引发土壤盐碱化等问题。

3.2 对社会经济活动的影响

开采沉陷对社会经济活动的影响广泛而深远，给人们的生活和社会的稳定带来了严重威胁。在社会方面，地面建筑的损坏是一个突出问题。沉陷可能导致房屋墙体开裂、倾斜甚至倒塌，道路出现裂缝、凹陷和起伏，桥梁结构受损，影响交通运输的安全和正常运行。学校、医院、商场等公共设施也难以幸免，给人们的日常生活和公共服务带来极大不便。从经济角度看，开采沉陷区的农业生产受到严重干扰，农民的收入减少。土地质量下降使得农业投入成本增加，而产出却大幅降低。同时，沉陷对工业和商业活动也造成不利影响。企业的厂房、仓库等建筑物可能受损，影响生产经营。此外，基础设施的破坏需要大量的资金进行修复和重建，增加了社会的经济负担。更重要的是，开采沉陷威胁着人民的生命财产安全。建筑物的倒塌和道路的损坏可能引发人员伤亡事故。居住在沉陷区的居民时刻面临着潜在的危险，心理压力增大，生活质量下降。

4 煤矿开采沉陷地质灾害的预测方法

4.1 经验公式法

经验公式法是基于大量实际观测数据总结得出的。通过对不同煤矿开采条件下的沉陷情况进行统计分析，建立起诸如沉陷量与开采深度、开采厚度、煤层倾角等因素之间的数学关系。这种方法简单实用，但准确性在一定程度上依赖于观测数据的代表性和适用性。

4.2 数值模拟法

（1）有限元法：将研究区域划分为有限个单元，通

过求解每个单元的力学平衡方程,模拟岩层的变形和应力分布,从而预测开采沉陷。(2)离散元法:特别适用于模拟非连续介质的力学行为,能较好地处理岩层的破裂、滑移等现象。(3)边界元法:只需在研究区域的边界上进行离散化,计算量相对较小,在处理无限域或半无限域问题时具有优势。

4.3 概率积分法

概率积分法是我国目前应用较为广泛的一种预测方法。它基于随机介质理论,认为开采引起的地表移动和变形是一种随机过程。通过概率积分函数来描述地表下沉、倾斜、曲率等变形值在空间上的分布规律,从而对开采沉陷进行预测。

5 煤矿开采沉陷处理策略与技术

5.1 沉陷区综合治理模式

煤矿开采沉陷区的治理需要综合运用多种措施,形成全面有效的综合治理模式。其中,工程措施和非工程措施是两个主要方面。(1)工程措施中的注浆加固是一种常用且有效的方法。通过向沉陷区的岩层裂隙和空隙中注入水泥浆或其他化学浆液,填充空隙,提高岩层的整体性和强度,从而减少岩层的进一步移动和变形。这种方法能够有效地控制地表沉陷的发展,增强地基的稳定性,为后续的建设和利用提供坚实的基础。例如,在一些需要建设重要基础设施的沉陷区,注浆加固可以确保道路、桥梁等工程的安全。(2)非工程措施中的土地复垦则侧重于恢复沉陷区的土地功能和生态环境。根据沉陷区的地形地貌和土壤条件,采取不同的复垦方式。对于积水较深的区域,可以发展水产养殖或建设人工湖;对于地势较为平坦、土壤条件较好的区域,可以进行耕地复垦,重新种植农作物;对于地形复杂、土壤贫瘠的区域,则可以通过植树种草,进行生态修复,提高植被覆盖率。

在实际的综合治理中,通常会根据沉陷区的具体情况,将工程措施和非工程措施相结合。例如,先通过注浆加固稳定地层,然后进行土地复垦,提高土地利用价值。

5.2 绿色开采技术

为了从源头上减少煤矿开采活动对环境的影响,推

动绿色开采技术的研发和应用已成为当务之急。绿色开采技术涵盖了多个方面。其中,保水开采技术通过控制开采过程中的岩层移动和破坏,保护地下水资源,减少水资源的流失和污染^[1]。在一些水资源匮乏的地区,这项技术对于维持当地的生态平衡和居民生活用水具有重要意义。(1)充填开采技术是另一种有效的绿色开采方法。在采煤过程中,同时将矸石、粉煤灰等固体废弃物充填到采空区,不仅减少了废弃物的排放和堆存,还能有效控制顶板下沉和地表沉陷。这种技术既提高了资源回收率,又降低了对环境的破坏。(2)顶板支护技术,每层开采完成后直接采用砼结构进行永久支护,采用锚杆注浆加固顶板岩层,并增加保安煤柱的数量,加密其间距。(3)智能化开采技术的发展也为绿色开采提供了有力支持。通过运用先进的传感器、自动化控制和数据分析技术,实现采煤过程的精准控制和优化,提高开采效率,减少资源浪费和环境破坏。

为了促进绿色开采技术的广泛应用,需要政府、企业和科研机构共同努力。政府应制定相关的政策法规和激励措施,引导和支持企业加大绿色开采技术的研发投入。企业要树立绿色发展理念,积极采用先进的绿色开采技术,提高自身的竞争力和可持续发展能力。科研机构则应加强基础研究和技术创新,为绿色开采技术的发展提供强大的科技支撑。

结语:煤矿开采沉陷地质灾害是一个复杂且严峻的问题。我们在明确其形成机制、类型、影响因素和预测方法的基础上,提出了综合治理模式和绿色开采技术等处理策略。然而,要实现有效的防控和治理,还需要进一步加强跨学科研究,不断完善相关法律法规和政策,加大技术研发投入,并提高企业和公众的环保意识。

参考文献

- [1]张锦,刘会彬,王建军,李政霖.煤矿开采沉陷灾害防治技术研究进展[J].中国矿业,2020,29(1):1-9.
- [2]杨帆,袁越,崔峰,等.采煤沉陷区生态修复与综合治理研究[J].中国煤炭,2020,46(5):78-84.
- [3]郝志勇,王磊,李春海.高速铁路下采煤沉陷控制技术研究[J].铁道学报,2021,43(1):64-71.